**J. Grygorczuk*, K. Seweryn*, R. Wawrzaszek*,
M. Banaszkiewicz*, T. Rybus***

EKSPLORACJA WARSTW PODPOWIERZCHNIOWYCH KSIĘŻYCA Z WYKORZYSTANIEM PENETRATORA „KRET”**

1. WPROWADZENIE

Synteza jądrowa deuteru z helem-3 coraz częściej wymieniana jest jako potencjalne źródło energii mogące w przyszłości zastąpić używane obecnie paliwa. Hel-3 praktycznie nie występuje na Ziemi, natomiast dotychczasowe badania wskazują, że znaczne jego zasoby znajdują się na Księżycu. Aby ocenić wielkość oraz możliwość wykorzystania tych zasobów konieczne jest przeprowadzenie szczegółowych badań powierzchni Księżyca. Badania takie, prowadzone przez bezzałogowe lądowniki (np. planowana misja ESA na Księżyc), potrzebne są również w związku z przygotowaniami do załogowej eksploracji Księżyca.

Przyrządy wykorzystywane na lądownikach muszą charakteryzować się niewielką masą oraz niewielkim zużyciem energii elektrycznej. Jednym z rozwiązań pozwalających na spełnienie obu tych kryteriów w przypadku instrumentów przeznaczonych do badania warstw podpowierzchniowych są penetratory. Przykładowo: w planowanej przez NASA misji International Lunar Network określono maksymalną masę całej aparatury naukowej lądownika na 15 kg, zaś dopuszczalny pobór mocy na 15 W – znacznie mniej, niż wymagana moc potrzebna do procesu wiercenia.

Opracowany przez CBK PAN penetrator KRET jest unikalną konstrukcją inżynierską przeznaczoną do badania ciał Układu Słonecznego. KRET należy do grupy samowbijających się penetratorów kosmicznych, które proces wbijania rozpoczynają z bazy znajdującej się na lądowniku lub pojeździe. Zasada wbijania się mechanicznego penetratora KRET opiera się na wzajemnym, dynamicznym oddziaływaniu trzech mas: masy wbijanej obudowy, masy młotka i inercyjnej przeciw-masy (pozostałe elementy konstrukcyjne). Osiągana głębokość nie jest limitowana długością penetratora, a efektywnością energetyczną urzą-

* Centrum Badan Kosmicznych PAN, ul. Bartycka 18a, 00-716, Warszawa, Polska
** Praca sfinansowana w ramach projektu ESA PECS nr 98103

dzenia i oporami gruntu na penetrację. Ten niewielki penetrator (masa całkowita: 488 g, średnica: 20 mm, długość: 330 mm) może wbić się na głębokość kilku metrów przy poborze mocy zaledwie 0,28 W.

Penetrator KRET jest przeznaczony do pracy w warstwach podpowierzchniowych zbudowanych z regolitu lub materii porowatej o niewielkiej wytrzymałości mechanicznej. Jest to typowe środowisko księżycowe, niektórych obszarów Marsa oraz komet i planetoid. KRET może posłużyć do umieszczenia w warstwach podpowierzchniowych rozmaitych sensorów, w tym sensorów termicznych, optycznych oraz spektralnych. Pomiary te są warunkiem koniecznym do przeprowadzenia dalszych badań pozwalających na eksploatację zasobów energetycznych Księżyca.

W pracy przedstawiono: scenariusz podpowierzchniowej eksploracji Księżyca, budowę penetratora KRET oraz wyniki eksperymentalne testów penetratora KRET w laboratorium CBK PAN.

2. SCENARIUSZ PODPOWIERZCHNIOWEJ EKSPLORACJI KSIĘŻYCA

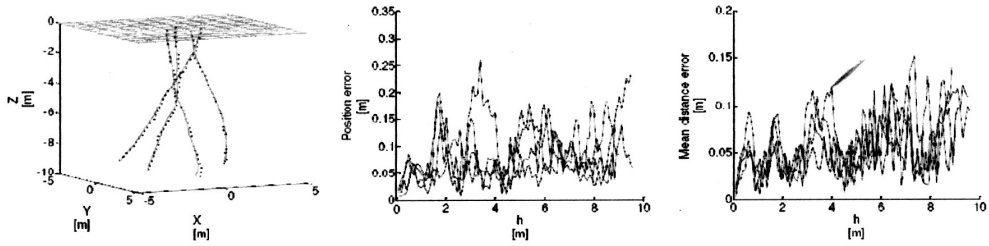
Proponowany przez autorów scenariusz podpowierzchniowej eksploracji Księżyca z wykorzystaniem penetratorów KRET opiera się w znacznej mierze na koncepcji amerykańskiej misji księżycowej International Lunar Network (ILN). Scenariusz ten przewiduje wykorzystanie przynajmniej 4 lądowników, które pozwolą na dostarczenie w różne rejony Księżyca zestawu instrumentów badawczych (w tym penetratorów KRET, które, jako przyrządy lekkie i proste w konstrukcji, idealnie nadają się do użycia w sieci pomiarowej).

Wykorzystanie sieci pomiarowej złożonej z kilku penetratorów rozmieszczonych w różnych miejscach na powierzchni Księżyca ma wiele zalet: pozwala zarówno na poznanie globalnych parametrów charakteryzujących własności Księżyca (a tym samym na wyjaśnienie globalnych procesów termicznych zachodzących we wnętrzu Księżyca), jak i na uzyskanie danych o lokalnej różnorodności regolitu (Weinberg, i inni, 2008). Własności regolitu księżycowego nie są jednorodne – między próbkami pobranymi w różnych rejonach Księżyca występują znaczące różnice (Heiken, i inni, 1991). Niejednorodne jest również rozmieszczenie zasobów Helu 3 (Fa i Jin, 2007).

Przebieg misji poszczególnych lądowników mógłby wyglądać następująco (Wawrzaszek, i inni, 2009): gdy lądownik znajdzie się już na powierzchni Księżyca, manipulator dokonuje wysunięcia penetratora KRET na odległość 2–3 metrów (aby lądownik nie zakłócał pomiarów termicznych) i osadza go w powierzchniowej warstwie regolitu. Manipulator stanowi bazę, z której rozpoczyna się proces wbijania penetratora KRET. Penetrator stopniowo zagłębia się w regolicie ciągnąc za sobą taśmę z sensorami termicznymi (Grott, i inni, 2009). Po osiągnięciu maksymalnej głębokości (ograniczonej oporami gruntu lub zasięgiem kabla łączącego penetrator z bazą) penetrator pozostaje pod powierzchnią prowadząc pomiary przez cały okres trwania misji (czas misji ILN planowany jest na 6 lat).

Ciekawym rozszerzeniem przedstawionego scenariusza mogłoby być użycie kilku niezależnych penetratorów na każdym z lądowników (Dąbrowski i Banaszkiewicz, 2006). Pozwoliłoby to na przestrzenne zróżnicowanie pomiarów nie tylko w skali globalnej, lecz również lokalnie – w skali pojedynczych metrów. Ponadto zastosowanie zespołu penetratorów pozwoliłoby, dzięki możliwości pomiaru odległości między poszczególnymi penetrato-

rami podczas procesu zagłębiania, na dokładniejsze ustalenie ich położenia przestrzennego. Dokładna znajomość położenia jest istotna dla prawidłowej interpretacji zbieranych danych pomiarowych. Wyniki symulacji zagłębiania się zespołu penetratorów na głębokość 10 metrów oraz błędów pomiaru ich położenia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Trajektoria i błąd nawigacji zespołu

3. PENETRATOR KRET

Opracowany KRET należy do grupy samo wbijających się penetratorów kosmicznych, które proces wbijania rozpoczynają z bazy znajdującej się na lądowniku lub pojeździe. W bazie znajduje się układ startowy (umożliwia wbijanie jeszcze nie zagłębionego urządzenia), zasilanie, układ sterujący, miernik głębokości, itp. Penetrator KRET, nawet po wbiciu, będzie znajdował się blisko bazy (maksymalnie kilka metrów), w związku z czym może być zasilany i komunikować się poprzez kabel.

Środowiskiem typowanym na wbijanie się penetratora KRET są warstwy podpowierzchniowe regolitu marsjańskiego lub księżycowego, słabo spojone i o niewielkiej wytrzymałości mechanicznej. Ze względu na pewność wbijania, zakładającą niejednorodność gruntu, z możliwością twardszych wtrąceń, założono skonstruowanie mechanizmu o możliwie dużej energii wbijania. Penetrator typu KRET osiągnie swoją maksymalną głębokość, gdy opory gruntu na penetrację zrównoważą energię uderzenia.

Zasada wbijania się mechanicznego penetratora KRET opiera się na wzajemnym, dynamicznym oddziaływaniu trzech mas: masy wbijanej obudowy, masy młotka i inercyjnej przeciw-masy (pozostałe elementy konstrukcyjne). Do działania niezbędna jest również sprężyna napędowa i sprężyna powrotna. Zasadę wbijania penetratora KRET, w sposób schematyczny, ilustruje rysunek 2.

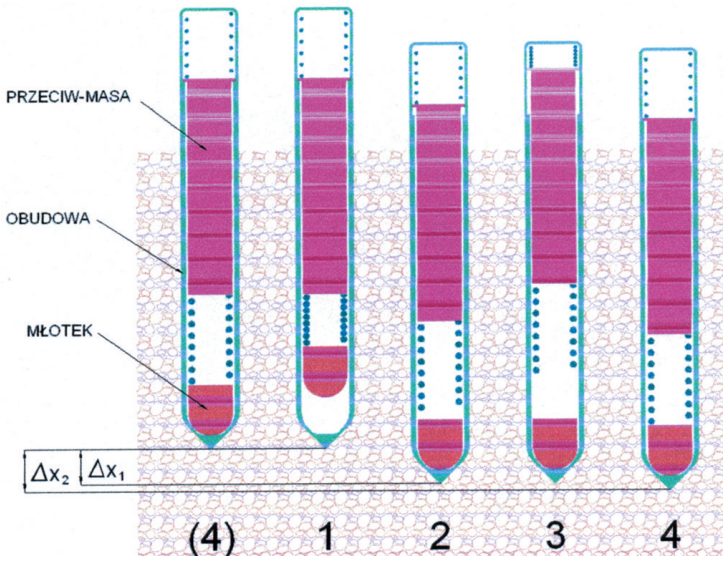
W pojedynczym cyklu pracy penetratora KRET wyróżniono cztery fazy:

FAZA 1: przesuwanie młotka i ściskanie sprężyny napędowej

FAZA 2: zwolniony młotek przyspiesza i uderza w obudowę, w wyniku wymiany energii i pędu następuje przyrost zagłębienia obudowy o Δx_1, w tym samym czasie przeciwmasa porusza się w przeciwną stronę

FAZA 3: przeciw-masa osiąga najwyższe położenie, część jej energia kinetycznej została zakumulowana w energii potencjalnej sprężyny powrotnej, a część w energii potencjalnej przeciwmasy. Obudowa nie przesuwa się do góry, ponieważ jej opory ruchu są większe od siły sprężyny powrotnej.

FAZA 4: przyspieszona siłą sprężyny powrotnej (w warunkach ziemskich również znaczącą grawitacją) przeciw-masa uderza w obudowę, powoduje jeszcze dodatkowe przesunięcie obudowy i ostateczny przyrost zagłębienia po jednym cyklu pracy wynosi Δx_2.



Rys. 2. Schematyczna zasada wbijania penetratora KRET

W założeniach koncepcyjnych penetratora KRET przyjęto, że urządzenie powinno cechować się bardzo dobrymi właściwościami penetracyjnymi i niezawodną pracą. Zdolności penetracyjne penetratora KRET zależą przede wszystkim od energii uderzenia młotka i przekroju poprzecznego wbijanej obudowy.

Znaczenie ma też kształt grota i długość penetratora. Do napędu młotka zastosowano sprężynę o energii 2,2 J, a średnica penetratora wynosi 2,0 cm. Energia na powierzchnię przekroju (E1) wynosi 0,7 J/cm^2. Dla przykładu, w znanym rozwiązaniu kosmicznego kreta IMS (przygotowywanego na misję do Merkurego), energia E1 wynosi tylko 0,15 J/cm^2 (średnica: 2,5 cm, energia sprężyny 0,7 J). Podczas cyklu pracy samo-wbijającego się penetratora część energii jest przekazywana w kierunku wbijania, a część w przeciwnym, niekorzystnym dla działania, zgodnie z zasadą zachowania pędu. Istotnym parametrem wpływającym na dużą sprawność przekazania energii w kierunku wbijania są proporcje pomiędzy trzema masami penetratora KRET: obudowy, młotka i przeciw-masy. Masa młotka powinna być stosunkowo mała w porównaniu z masą przeciw-masy aby zyskać jak najwięcej energii przy przyspieszaniu. Z drugiej strony masa uderzającego młotka nie może być za mała w stosunku do masy obudowy gdyż nastąpi nieoptymalne przekazanie energii i odbicie. Przy założeniu ograniczającym masę całego urządzenia do 0,5 kg, powyższy problem optymalizacji rozwiązano następująco:

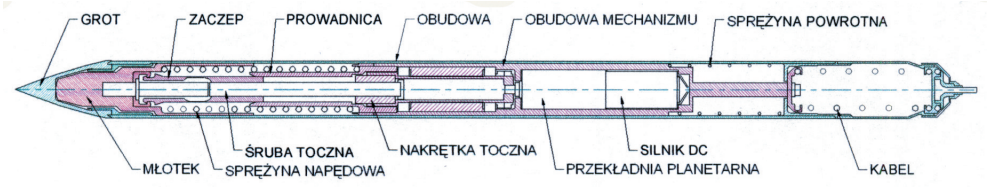
– Ograniczono masę obudowy do minimum stosując kompozytową rurkę z włókna węglowego i tytanowy, hartowany grot. Opracowano wytrzymałą technologię połączenia

tych różnych materiałów, gdyż podczas uderzeń młotka generowane są wielkie przeciążenia (powyżej 10 000 g). Otrzymana masa obudowy wraz z zamykającą częścią tylną wynosi 46 g.

– Zastosowano młotek o masie zbliżonej do obudowy (wartość pomiarowa – 42 g). Młotek wykonano ze stali nierdzewnej i zahartowano.
– Sposobem na zapewnienie dużej masy przeciw-masy w „ciasnej" obudowie było zastosowanie, na części konstrukcyjne, materiału o dużym ciężarze właściwym. Dobrym kandydatem okazał się obrabialny stop wolframu (18,1 g/cm^3), dający się skrawać twardymi węglikami. Masa przeciw-masy wynosi 400 g.

Masa całego penetratora KRET wyniosła 488 g. W przybliżeniu uzyskano proporcje trzech mas: wbijanej obudowy, młotka i przeciw-masy jak: 1:1:10.

Niezawodne działanie urządzenia uzyskano przez opracowanie własnego, prostego w działaniu mechanizmu zaczepu i zwalniania młotka oraz zastosowaniu wysokiej jakości gotowych podzespołów: silnika DC i przekładni planetarnej firmy Faulhaber oraz wysokosprawnej śruby z nakrętką toczną. Rysunek 3 przedstawia przekrój penetratora KRET z zaznaczonymi głównymi podzespołami.

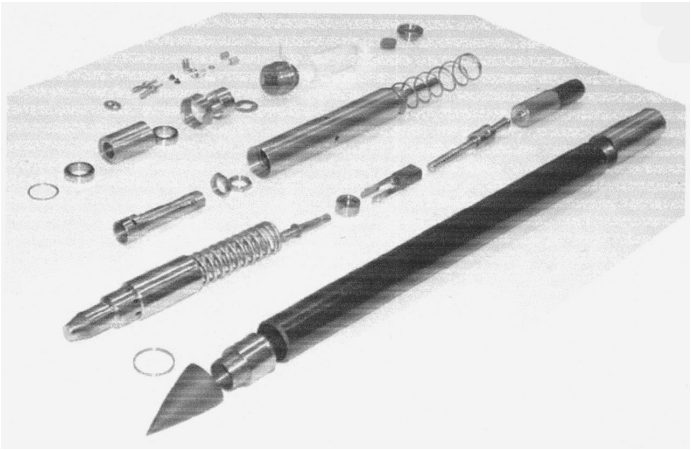


Rys. 3. KRET w przekroju

Mechanizm penetratora KRET powtarza cyklicznie kolejne ruchy. Kluczową rolę pełni zaczep, który porusza się ruchem posuwisto zwrotnym. Liniowe przesunięcia zapewnia śruba toczna napędzana silnikiem elektrycznym poprzez reduktor. W końcowej fazie ruchu do przodu zaczep łączy się z młotkiem. Do sprzęgnięcia wystarcza kilka gram siły. Podczas ruchu powrotnego przesuwany młotek ściska sprężynę napędową. W końcowej fazie ruchu powrotnego zaczep zmuszony jest do zwolnienia młotka poprzez oddziaływanie współpracujących skosów na zaczepie i prowadnicy. W opracowanym modelu mechanizm wykonuje dwa cykle pracy w ciągu minuty i pobiera średnio zaledwie 0,28 W mocy. Zwiększając moc do około 1 W i zmieniając stopień przełożenia reduktora planetarnego można skrócić cykl pracy do 8–12 s. Zastosowany silnik DC jest przeznaczony do pracy ciągłej przy poborze mocy 3 W.

Model laboratoryjno-technologiczny penetratora KRET opracowywano z myślą o wersji kosmicznej urządzenia. Między innymi wzięto pod uwagę takie rozwiązania konstrukcyjne, które pozwolą urządzeniu przejść testy przeciążeniowe i wibracyjne. Przewidziano sposób aretażu przeciwmasy na czas startu i lądowania misji kosmicznej.

Do zbudowania penetratora KRET zaprojektowano około 30 części w programie Autodesk Inventor (3D CAD). Niektóre z nich były dodatkowo modyfikowane po wstępnych testach urządzenia. Rysunek 4 przedstawia części i podzespoły, z których zbudowany jest KRET.



Rys. 4. Części i podzespoły modelu laboratoryjno-technologicznego penetratora KRET

4. SYMULACJE KOMPUTEROWE

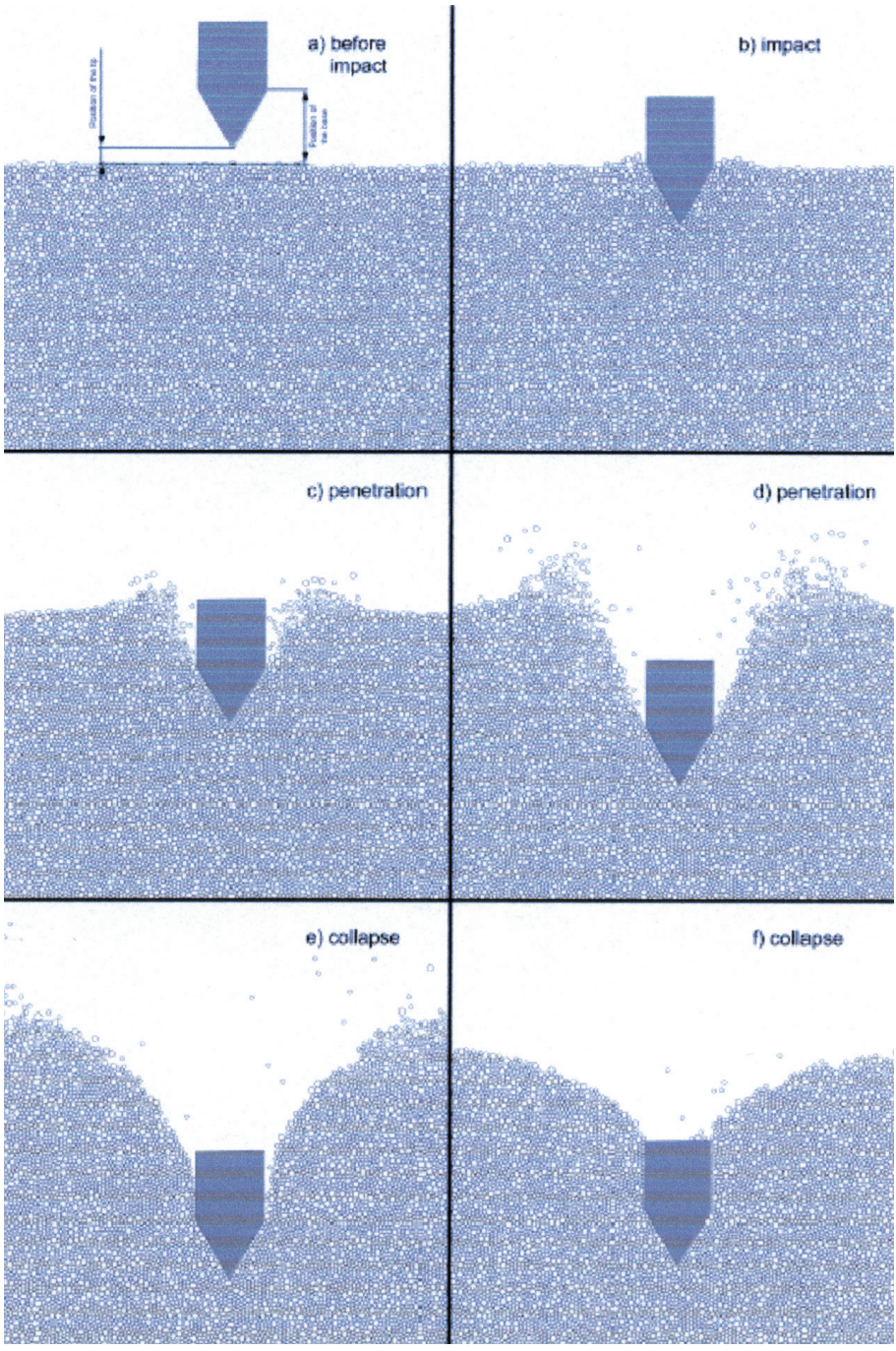
W trakcie badań został opracowany model numeryczny służący do analizy procesu wbijania. Jest on oparty o rozwiązania numeryczne równań ruchu poszczególnych ziaren piasku, co pozwala na dokładne odzwierciedlenie zachowania materiału niespoistego w trakcie kilkunastu mikrosekund, w których następuje ruch penetratora. Symulacja ta pozwoliła na optymalizację kształtu grota penetratora a także na lepsze zrozumienie warunków panujących w piachu w trakcie ruchu penetratora. Rysunek 5 przedstawia kolejne fazy symulacji wbijania penetratora.

5. BADANIA EKSPERYMENTALNE

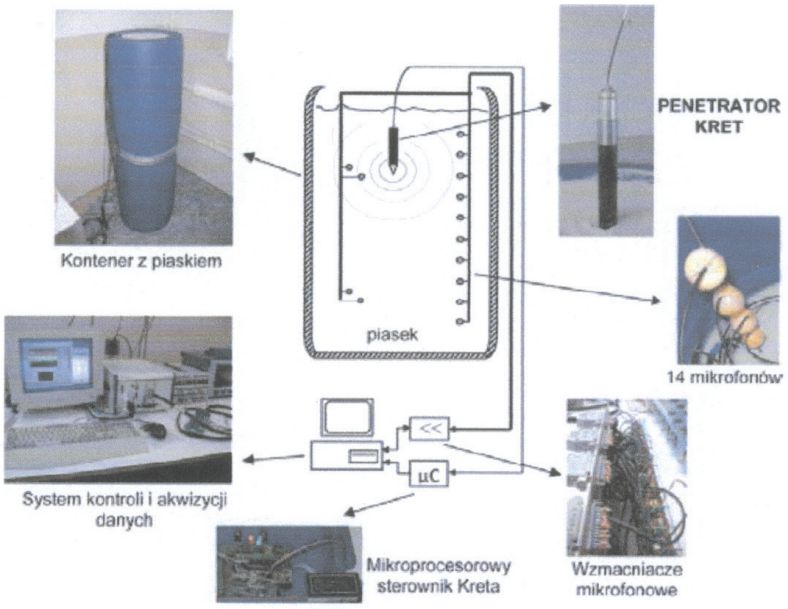
Testy funkcjonalne penetratora KRET przeprowadzono w zbudowanym dla tego celu stanowisku pomiarowym składającym się z cylindra o wysokości 2 m i średnicy 80 cm, który był wypełniony suchym kwarcowym piachem. Stanowisko pomiarowe przedstawione na rysunku 6 zostało wyposażone w bezdotykowy system pomiarowy.

Podczas testowania penetratora zostały przeprowadzone dwa typy pomiarów: pierwszy pozwalający określić progres wbijania urządzenia po każdym cyklu pracy oraz drugi przedstawiający charakterystykę wbijania.

Pomiar progresu wbijania, w przypadku zewnętrznego magazynku kabla, można mierzyć zmianami w długości wciąganego za urządzeniem kabla. W przypadku gdy kabel jest odwijany z penetratora KRET (taką wersję też testowano) należało opracować inną metodę pomiarową. W opracowanej metodzie, pomiar progresu wbijania polega na wykorzystaniu zjawiska generowania przez penetrator fali sejsmicznej w momencie zderzenia się dwóch stalowych elementów tj. młotka z grotem penetratora. W momencie zderzenia generowane są częstotliwości rezonansowe a następnie sygnał jest transmitowany w ośrodku w postaci fali sejsmicznej (lub akustycznej). Następnie sygnał zostaje rejestrowany przez mikrofony umieszczonych równomiernie wzdłuż wysokości stanowiska pomiarowego.



Rys. 5. Sekwencja ruchu penetratora w materiale ziarnistym.
Symulacja 2D – 15 000 ziaren

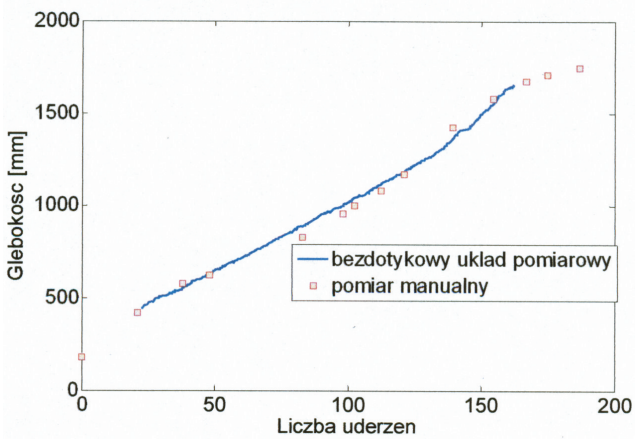


Rys. 6. Schemat stanowiska pomiarowego wykorzystanego do finalnych testów penetratora KRET. Zdjęcia prezentują poszczególne składowe systemu

Wykorzystując fakt, że piasek jest silnie tłumiącym ośrodkiem, szczególnie w zakresie wysokich częstotliwości można wyznaczyć zależność całkowitej energii fali sejsmicznej w funkcji odległości od mikrofonu pomiarowego. W konsekwencji pozwala to na wyznaczenie energii fali sejsmicznej w funkcji wysokości (przy założeniu, że znane jest położenie każdego z mikrofonów stanowiska pomiarowego). W układzie pomiarowym zostało pominięte zjawiska o małym znaczeniu dla dokładności pomiaru, tj.: kierunkową charakterystykę zarówno mikrofonów pomiarowych, jak i źródła fali sejsmicznej oraz zależność tłumienia od ciśnienia hydrostatycznego.

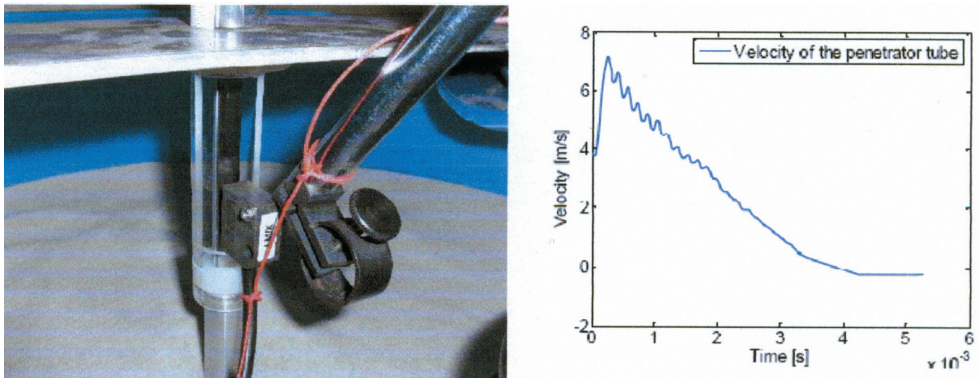
Ostatecznie, do wyznaczenia położenia wykorzystano system dźwiękowy oparty na 14 mikrofonach, z których 10 umieszczono w linii pionowej, około 10 cm od ściany kontenera. System dźwiękowy wspomagany był systemem znaczników na kablu zasilającym. Każdy z mikrofonów umieszczony został wewnątrz plastikowej piłeczki pełniącej funkcję przetwornika sygnału sejsmicznego na sygnał akustyczny możliwy do zarejestrowania za pomocą mikrofonu. Mikrofony podłączono osobnymi przewodami do specjalnie zrealizowanego na potrzeby projektu, czternasto sekcyjnego systemu wzmacniaczy niskoszumnych. Dla każdego uderzenia KRETA, sygnał z poszczególnych kanałów pomiarowych był rejestrowany za pomocą przyrządu National Instruments a następnie analizowany na bieżąco za pomocą programu napisanego w środowisku Matlab.

Zmierzona pozycja penetratora KRET w trakcie przeprowadzonych testów została przedstawiona na rysunku 7. Przedstawiono zarówno dane z pomiaru manualnego (pomiar długości wciąganego kabla) jak również z opracowanego systemu bezdotykowego.



Rys. 7. Porównanie pomiarów wykonanych manualnie oraz za pomocą akustycznego systemu pomiarowego

Drugi rodzaj pomiaru polegał na wyznaczeniu charakterystyki wbijania penetratora w trakcie pojedynczego uderzenia. Zadanie to zrealizowano przy pomocy uproszczonego modelu penetratora. Pomiar przemieszczenia został wykonany za pomocą sensora magnetycznego, z częstotliwością próbkowania 500 kHz (rys. 8).



Rys. 8. Sensor magnetyczny rejestrujący przemieszczenie penetratora (panel lewy), przykładowy wynik prezentujący prędkość penetratora (panel prawy)

Dodatkowo zostały wykonane testy z uproszczonym modelem penetratora wyposażonego w układ generujący drgania. Testy wykazały, że wpływ drgań jest szczególnie pożyteczny przy statycznym wyciąganiu kreta z piasku. Wyznaczono, że dla penetratora o średnicy 20 mm progowa wartość bezwymiarowego przyspieszenia Γ musi być równa $\Gamma = 55$, aby nastąpiło 8-krotne zmniejszenie siły statycznej wymaganej do wyciągnięcia penetratora z głębokości 1 m pod powierzchnią piasku. Ze względu na utrudnienia konstrukcyjne i oba-

wę przed pogorszeniem właściwości dynamicznych penetratora, model laboratoryjno-technologiczny nie zawiera urządzenia generującego drgania. Główne parametry techniczne penetratora KRET otrzymane z przeprowadzonych testów oraz innych pomiarów zostały umieszczone w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry techniczne penetratora KRET

Parametr techniczny	Wartość
Średnica zewnętrzna [mm]	20.4
Długość [mm]	330
Masa całkowita [g]	488
Masa wbijanej obudowy [g]	46
Masa młotka [g]	42
Masa przeciw-masy [g]	400
Energia sprężyny napędowej [J]	2.2
Średnia moc pobierana [W]	0.28
Średni przyrost zagłębienia na jedno uderzenie młotka [mm]	8.5
Maksymalny przyrost zagłębienia [mm]	15
Minimalny przyrost zagłębienia [mm]	5
Czas przemieszczenia penetratora po uderzeniu młotka [s]	4.2×10^{-3}
Czas jednego cyklu pracy [s]	30
Osiągnięte zagłębienie w piachu [m]	1.85 (ograniczone stanowiskiem testowym)

6. WNIOSKI

Opracowano, wykonano i przetestowano model laboratoryjno-technologiczny penetratora typu KRET, z autonapędem młotkowym, zdolnego do wbijania się w luźny grunt, jak piach lub regolit marsjański, na głębokość nie limitowaną długością urządzenia. Osiągana głębokość zależy wyłącznie od wielkości wytwarzanej energii wbijania, sposobu i efektywności jej przekazania oraz oporów gruntu na penetrację. Opracowany nowatorski napęd penetratora KRET charakteryzuje się dużą (jak na tego typu urządzenie) energią uderzenia. W cylindrycznym penetratorze o średnicy 2,0 cm zastosowano sprężynę napędową akumulującą energię 2,2 J, co w przeliczeniu na powierzchnię przekroju (istotny parametr przy wbijaniu) daje energię E1 = 0,7 J/cm^2. Dla przykładu w znanym rozwiązaniu kreta IMS (przygotowywanego na misję Bepi-Colombo), energia E1 wynosi tylko 0,15 J/cm^2 (średnica: 2,5 cm, energia sprężyny: 0,7 J).

Dobre właściwości penetrujące penetratora KRET potwierdziły testy wbijania w suchy kwarcowy piach o wielkości ziaren 0,2–0,8 mm. Stanowisko wbijania składało się z dwóch połączonych beczek, postawionych jedna na drugiej, umożliwiając testy do głębokości ok. 2 m. Średni przyrost zagłębienia przypadający na jeden cykl pracy mechanizmu penetratora KRET (jedno uderzenie młotka) wynosił ok. 8,5 mm. Przy średnim poborze mocy 0,28 W mechanizm zapewniał dwa uderzenia na minutę. Zwiększając moc i zmniejszając przełożenie reduktora można jeszcze kilkakrotnie zwiększyć prędkość wbijania.

W konstrukcji modelu laboratoryjno-technologicznego penetratora KRET zastosowano rozwiązania z myślą o niezawodnej pracy urządzenia w warunkach kosmicznych (prosty mechanizm zwalniający, śruba toczna) i przewidziano sposób aretacji mechanizmu na czas startu. Podczas pracy penetratora wielkie przeciążenia (powyżej 10 000 g), pochodzące od uderzeń młotka, są generowane na wbijaną obudowę. Wytrzymuje je opracowana technologia połączenia lekkiej obudowy z materiału kompozytowego (włókno węglowe) z tytanowym, hartowanym grotem. Zastosowanie włókna węglowego zapewnia nie tylko wysokie właściwości wytrzymałościowe w stosunku do małej masy, ale charakteryzuje się również niskim przewodnictwem cieplnym, co predysponuje taką obudowę do umieszczenia w jej zewnętrznych warstwach foliowych sensorów termicznych. Najodpowiedniejszym miejscem na umieszczenie innych sensorów jest dodatkowa komora z tyłu urządzenia.

LITERATURA

[1] Dąbrowski B., Banaszkiewicz M.: *Measurements of lunar and martian regolith thermal properties using subsurface robotic teams*. Proceedings of the 9th ESA Workshop on Advanced Space Technologies and Automation 'ASTRA 2006', ESTEC, Noordwijk, 2006

[2] Grott M., Spohn T., Richter L.: *HP3- A heat flow probe proposed for the International Lunar Network*. 40th Lunar and Planetary Science Conference, 2009

[3] Grygorczuk J., Seweryn K., Wawrzaszek R., Banaszkiewicz M.: *Insertion of a Mole Penetrator – Experimental Results.* 39th Lunar and Planetary Science Conference League City, Texas, 2008

[4] Heiken G.H., Vaniman D.T., French B.M.: *Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon. Nowy Jork, Cambridge University Press*. Jin Y. Q., Fa W. (2007): Quantitative estimation of helium-3 spatial distribution on the lunar regolith layer. Icarus 190, 1991

[5] Seweryn K., Wawrzaszek R., Grygorczuk J., Dąbrowski B., Banaszkiewicz M., Neal C. R., Huang S., Kömle N.: *Modelling of Passive and Active L-GIP Thermal Measurements in the Lunar Regolith.* 39th Lunar and Planetary Science Conference League City, Texas, 2008

[6] Seweryn K., Grygorczuk J., Banaszkiewicz M.: *The micro scale modeling of the interaction of a penetrator with granular medium.* Penetrometry in the Solar System II Eds: Günter Kargl, Norbert I. Kömle, Andrew J. Ball, Ralph Lorenz, Proceedings of the 2nd International Workshop on Penetrometry in the Solar System, Graz, September 25–28, 2006, Austrian Academy of Sciences Press (2008) (w druku)

[7] Wawrzaszek R., Seweryn K., Dabrowski B., Banaszkiewicz M., Grygorczuk J., Neal C.R., Huang S., Kömle N.: *Modelling the passive and active thermal measurements including heat properties of the mole-type sensor carrier European Geosciences Union General Assembly.* 2008 Wiedeń, Austria, 13–18 kwiecień 2008

[8] Wawrzaszek R., Sewryn K., Grygorczuk J.: *The heat-flow probe hardware component (HPHC) of the LGIP package.* 40th Lunar and Planetary Science Conference, 2009

[9] Weinberg J.D., Neal C.R., Lognonné P. i inni : *A lunar geophysical instrument package (LGIP) as a candidate for the international lunar network (ILN) – Part I.* Science and Instrumentation. Lunar and Planetary Science XXXIX, 2008